

GSJ

地球をよく知り、地球と共生する

地質ニュース



6月号

-
- 口絵 143 **ピナクルズ (Pinnacles) とナンブング国立公園に
ひろがる砂漠地帯**
岩男弘毅
-
- 145 **産総研の海外卓越研究員招聘制度による FORCaist プロジェクト
—地層の磁気記録機械学習から気候変動の解明へ—**
森田澄人・小田啓邦・田中裕一郎・赤穂昭太郎
-
- 148 **都市域の地質地盤図「千葉県北部地域」の公開
—首都圏の3次元地質情報整備の事始め—**
中澤 努・野々垣 進
-
- 156 **タイ・バンコクにて東南アジア初の熱応答試験実施**
内田洋平・藤井 光
-
- 159 **CCOP-GSJ-MME Groundwater Project Phase III Meeting
開催報告**
内田洋平・シュレスタ ガウラブ
-
- 162 **書籍紹介 「人類と気候の10万年史」**
-
- 164 **新人紹介** 北村真奈美・井口 亮・須田 好・清家弘治・吉川美穂・
南 裕介

ピナクルズ (Pinnacles) と ナンブング国立公園にひろがる砂漠地帯

岩男弘毅¹⁾

ピナクルズ(奇岩群 第1図)は、オーストラリア西海岸パースから200 km以上北上したところにあるナンブング国立公園内にひろがるオーストラリアの観光スポットの一つとして知られている。ゴシック建築の聖堂などの上にある先の尖った塔をピナクルズと呼び、これと奇岩群の形が似ていることからピナクルズと呼ばれる。国立公園の中にあるビジターセンター内の説明によると、かつてこの辺り一帯は海で、そこに貝殻などが蓄積し、石灰岩が形成された。その後、隆起により陸地になった場所に原生林が繁茂したものの、やがて砂漠化に伴い次第に風化が進んだ。それに伴い、石灰岩の中に根を張った樹木などによって浸食の差が生じ、現在のような姿で残ったとのことである。大きなもので3~5 m ぐらいの大小の尖塔が砂漠から突き出したこの景色は映画やCM等の撮影地としても知られる。今でも風化は進んでいて、国立公園内には砂漠地帯も広がっている。

人工衛星に搭載した資源探査などを目的とするセンサー(カメラ)は運用開始から宇宙線などの影響で、その感度が劣化していくことが知られている。この劣化度合いを調べる研究として、リモートセンシング研究グループでは衛星センサーと地上観測の同期観測による、衛星データの校正に関する研究(代替校正研究)を進めている。代替校正を行う候補地としては、気象条件が一年を通してよい、地表面が平坦かつ一定の反射スペクトルである、といった幾つかの条件がある。こうした理由から乾燥した砂漠や乾燥湖等が候補地となることが多いが、安全に現地観測を行うためのアクセスが確保される地域は限定される。今回はオーストラリア連邦科学産業研究機構(CSIRO)と国立公園管理機関の協力の下、ピナクルズの林立する場所から2 kmほど北北東に進んだ砂漠地帯(第2図)に定点観測装置を設置するための候補地選定を行った。従来の代替校正では衛星が上空を通過するのと同時に地上で観測を行うが、我々が取り組んでいる次世代地球観測衛星セン



第1図 ピナクルズ(奇岩群)

サーは国際宇宙ステーション(ISS)への搭載を予定している。ISSの軌道は通常の人工衛星と比べ特殊であり、軌道予測が直前まで困難であることから海外での同期観測を計画することが困難となることが想定される。そこで、いつ飛んできてでも対応できるような定点観測システムを設置する予定である(第3図、第4図)。

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

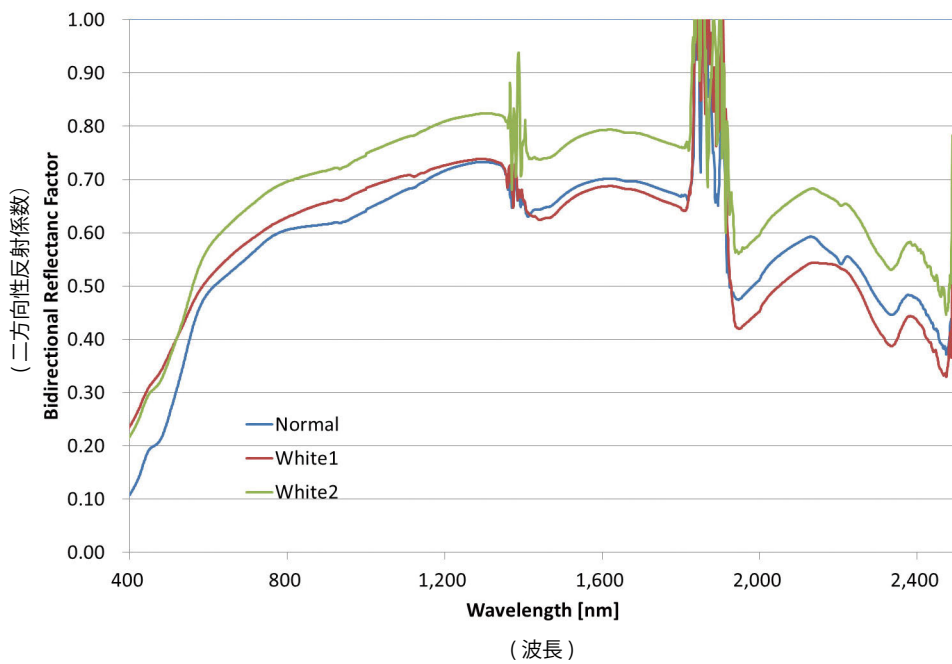
キーワード：ピナクルズ、砂漠、代替校正、リモートセンシング、反射スペクトル



第2図 観測機器設置候補地



第3図 反射スペクトル特性の確認



第4図 候補地点付近(東経 115.15984 南緯 30.58782)の分光反射係数 (CSIRO提供, 白板 BRDF補正なし)

産総研の海外卓越研究員招聘制度による FORCaist プロジェクト

— 地層の磁気記録機械学習から気候変動の解明へ —

森田澄人¹⁾・小田啓邦²⁾・田中裕一郎²⁾・赤穂昭太郎³⁾

1. はじめに

2017年度、産総研は関係する学術界のトップリーダーを海外から一定期間招聘し、新たな研究体制に基づく共同研究プロジェクトを実施することを決定した。この一環として、地質調査総合センターと情報・人間工学領域では、岩石の磁気ヒステリシス高度解析の権威であるオーストラリア国立大学(ANU)物理数学科学部の前学部長 Prof. Andrew P. Roberts を招聘し、同教授をリーダーとする研究体制を構築して、岩石磁気学による緻密な分析と機械学習による高度解析を用いた高精度な地球環境変遷解析手法を開発する研究プロジェクト「FORCaist」を開始した。

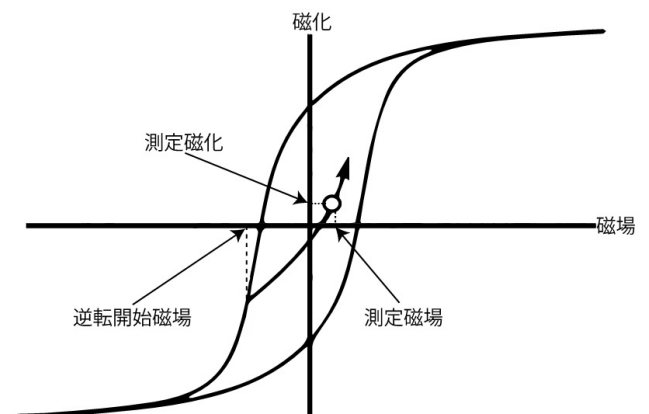
2. 磁気ヒステリシスと FORC 法

岩石及び地層の磁性物質に残された磁気記録については、過去50年来地球科学の様々な場面で適用され、主にテクトニクスや古環境変動において地球史における多様な事実を明らかにしてきた。その中でも、ANUの Prof. Roberts は、磁性物質の磁気ヒステリシスの高度測定・解析手法である FORC (First Order Reversal Curve) 法 (Roberts *et al.*, 2000 ; 2014, Zhao *et al.*, 2017 ほか) の開発者として著名であり、古地磁気学・岩石磁気学をはじめとし、層序学・古環境学や掘削科学の研究における第一人者である (e.g. Grant *et al.*, 2012, Marino *et al.*, 2015, Rohling *et al.*, 2009 ; 2014)。

地層を構成する堆積物や岩石には多かれ少なかれ磁性鉱物が含まれている。その磁性鉱物の種類・粒子形状・粒径・集合状態(磁気相互作用)は、磁気ヒステリシスを測定することによって調べることができ、その結果これら磁性鉱物がもたらされた当時の地球環境の推定が可能となる。磁気ヒステリシスとは、磁性物質に磁場を与えた時に過去の磁化状態の影響を残したかたちで再磁化するという性質で

ある。これは、たとえば針など鉄でできた細長い棒を一方方向に磁石のN極で擦ると、擦った方向がS極に磁化するが、逆方向に擦ると逆方向がS極に磁化するという現象からも伺い知ることができる。つまり、磁性物質の周囲から磁場を取り除いても磁化が残り、その方向や強さがその物質がそれまでに経験した磁場履歴に依存するという性質である。この磁気ヒステリシスを測定する場合は、試料に磁場をかけながら磁化の測定を行うが、このときプラスの最大磁場からマイナスの最大磁場まで変化させて、さらにプラスの最大磁場まで戻して完了する。このようにして得られた結果を横軸磁場、縦軸磁化として作図したものを磁気ヒステリシスループという(第1図)。

FORC法の詳細は前述の文献を参考にさせていただきたいが、簡単に説明すると、上記磁気ヒステリシスループ測定の途中で磁場を止めて(第1図;逆転開始磁場)、磁場を逆向きに变化させつつ(第1図;測定磁場)、そのときの磁化を測定する(第1図;測定磁化)、という作業を繰り返し行い、こうして得られた一連の逆転開始磁場と測定磁場をX軸とY軸にとって、磁化をX方向Y方向にそれぞれ微分することで得られる作図法のことである。このよう



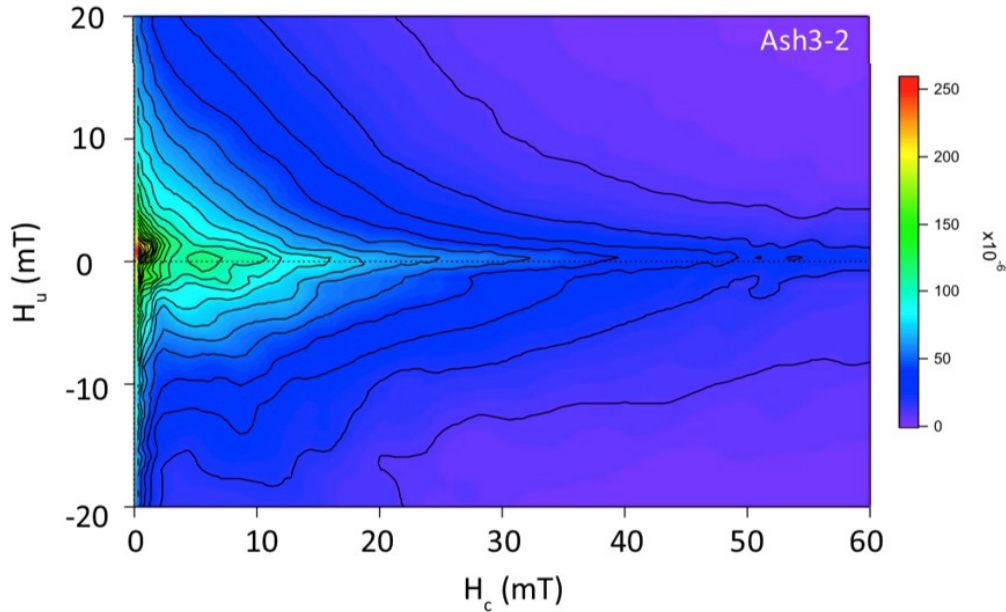
第1図 磁気ヒステリシスと FORC 測定の概略。図中の“逆転開始磁場”、“測定磁場”、“測定磁化”については本文を参照のこと。

1) 産総研 地質調査総合センター 研究戦略部研究企画室

2) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

3) 産総研 情報・人間工学領域人間情報研究部門

キーワード：卓越研究員、古地磁気、磁気記録、磁気ヒステリシス、FORC、FORCaist、機械学習、環境変動



第2図 FORC 図の一例 (Fig. 5f; Oda *et al.*, 2016). 南極で発見された火山灰試料の測定結果. 解釈の方法については Roberts *et al.* (2014) などを参照のこと.

にして得られるダイアグラム (FORC 図; 第2図) の解析から, 試料に含まれる磁性物質の保磁力分布と磁気相互作用を定量的に表現することができる手法として注目されている. FORC 法の日本語での詳細な解説は白井 (2016) を参照いただきたい. 磁性物質の FORC データは, 磁化の状態に応じてそれぞれ特徴的なパターンを示すことが知られているが, ダイアグラムの解析に機械学習を導入することによって, 人間の認識能力を超えた新たな知見が得られることが期待される.

3. FORCaist プロジェクト始動

プロジェクト名は「磁気記録と気候変動研究における機械学習手法の開発: Development of machine learning approaches in magnetic recording and climate research (ニックネーム: FORCaist)」とした. 本プロジェクトでは, 地層を構成する岩石試料中の微弱な磁気シグナル解析から各地層の供給起源を探るなど, 気候及び堆積環境の変遷史を FORC 法を用いて明らかにする. さらに, 岩石試料の磁気ヒステリシスデータを蓄積し, 機械学習を適用することで, 古環境変動高度解析手法を開発する.

Prof. Roberts の他にも同プロジェクトの参加メンバーを ANU から招聘し, 他研究機関とも協力する体制を整備した. 構成メンバーを以下に示す.

招聘研究員メンバー

Prof. Andrew P. Roberts (ANU: プロジェクトリーダー)

Dr. David Heslop (ANU)

Dr. Xiang Zhao (ANU)

Dr. Pengxiang Hu (ANU)

在外共同研究メンバー

Prof. Richard J. Harrison (ケンブリッジ大学)

Dr. Adrian R. Muxworthy (インペリアル・カレッジ・ロンドン)

産総研メンバー

小田啓邦 (地質情報研究部門 上席主任研究員)

赤穂昭太郎 (情報人間研究部門 研究グループ長)

佐藤哲郎 (地質情報研究部門 ポスドク研究員)

ほか, 契約職員を含む

プロジェクトは幾度かの事前打ち合わせを経たのち, 2018年4月, 英国からの共同研究者らも迎えて合同でのキックオフミーティングを産総研つくばセンターで行った (写真). 研究遂行に必要な建設的アイデアが各メンバーから次々と出され, 盤石なかたちでプロジェクトはスタートを切った. 既に, プロジェクトの初期目標として設定された理論計算に基づく FORC データの生成及び過去の FORC データのノイズ解析, 日本の地質試料の FORC 測定などが同時並行的に進行中である. 標準となる磁性鉱物試料のリストアップもほぼ完了しており, これらの実測定も近日中



写真 2018年4月のキックオフミーティングの様子。一番左が Prof. Roberts. 産総研つくばセンターにて。

に開始予定である。

今後、解析手法の確立と機械学習の習熟を重ね、将来的にはソフトウェア開発や若手研究者の育成への展開を図る。まず2018年度終了時には一定の成果を提示する予定である。

文 献

- Grant, K. M., E. J. Rohling, M. Bar-Matthews, A. Ayalon, M. Medina-Elizalde, C. Bronk Ramsey, C. Satow and A. P. Roberts (2012) Rapid coupling between ice volume and polar temperature over the past 150,000 years, *Nature*, **491**, 744–747.
- Marino, G., E. J. Rohling, L. Rodríguez-Sanz, K. M. Grant, D. Heslop, A. P. Roberts, J.D. Stanford and J. Yu (2015) Bipolar seesaw control on last interglacial sea level, *Nature*, **522**, 197–201.
- Oda, H., I. Miyagi, J. Kawai, Y. Suganuma, M. Funaki, N. Imae, T. Mikouchi, T. Matsuzaki and Y. Yamamoto (2016) Volcanic ash in bare ice south of Sor Rondane Mountains, Antarctica: geochemistry, rock magnetism and nondestructive magnetic detection with SQUID gradiometer, *Earth Planets Space*, **68**, 39, doi:10.1186/s40623-016-0415-3.
- Roberts, A. P., C. R. Pike and K. L. Verosub (2000) First-order reversal curve (FORC) diagrams: A new tool for characterizing the magnetic properties of natural samples, *J. Geophys. Res.* **105**, 28,461–28,475.
- Roberts, A. P., D. Heslop, X. Zhao and C. R. Pike (2014) Understanding fine magnetic particle systems through use of first-order reversal curve diagrams, *Rev. Geophys.*, **52**, 557–602.
- Rohling, E. J., K. Grant, M. Bolshaw, A. P. Roberts, M. Siddall, C. Hemleben and M. Kucera (2009) Antarctic temperature and global sea level closely coupled over the past five glacial cycles, *Nature Geosci.*, **2**, 500–504.
- Rohling, E. J., G. L. Foster, K. M. Grant, G. Marino, A. P. Roberts, M. Tamisiea and F. Williams (2014) Sea-level and deep-sea-temperature variability over the past 5.3 million years, *Nature*, **508**, 477–482.
- 白井洋一 (2016) VSMによる測定と解析：磁気ヒステリシスと寄与分解, <http://peach.center.ous.ac.jp/cswiki/index.php?VSMによる測定と解析：磁気ヒステリシスと寄与分解#yc49255f>. (2018年5月16日 確認)
- Zhao, X., A. P. Roberts, D. Heslop, G. A. Paterson, Y. L. Li and J. H. Li (2017) Magnetic domain state diagnosis using hysteresis reversal curves, *J. Geophys. Res.*, **122**, 4767–4789.
- MORITA Sumito, ODA Hirokuni, TANAKA Yuichiro and AKAHO Shotaro (2018) FORCaist project by AIST's overseas excellence researcher invitation program: From machine learning of geological magnetic records to an elucidation of climate change.

(受付：2018年5月16日)

都市域の地質地盤図「千葉県北部地域」の公開 —首都圏の3次元地質情報整備の事始め—

中澤 努¹⁾・野々垣 進²⁾

1. はじめに

産総研地質情報研究部門では、このたび都市域の地質地盤図「千葉県北部地域」(柏～成田～船橋～千葉近辺)をウェブ公開しました。この地質地盤図は、産総研のボーリング調査に基づく最新の地質研究成果、及び千葉県が保有する1万地点以上の土木・建築工事のボーリング調査データに基づいて、地下数10 mまでの地質構造を立体図等で表示することができる3次元の地質地盤図です(第1図)。このような地質地盤図を公開するのは国内では初めてのことです。また、千葉県北部地域は、首都圏の地質を調査するうえでモデル地域として選定された場所であり、今後の首都圏の3次元地質情報整備において布石となる重要な地域です。このような重要な地域の地質情報整備を、今回、地元自治体の研究機関である千葉県環境研究センターの協力を得て実施しました。

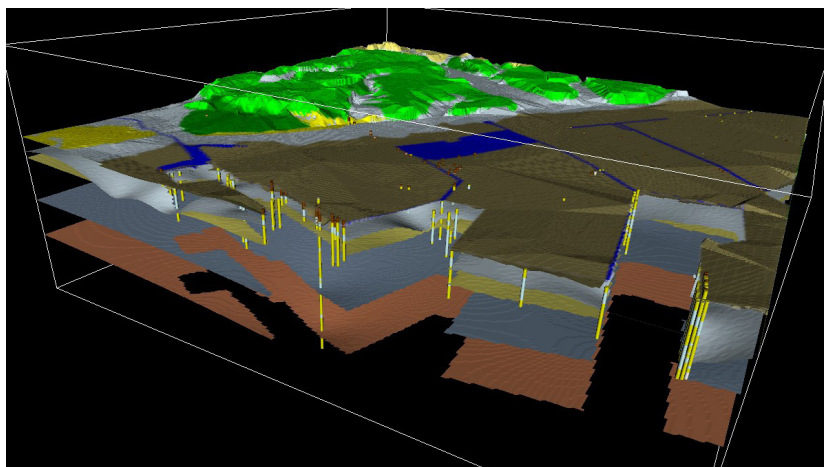
本稿では、3次元地質地盤図を作成するに至った経緯、また3次元地質地盤図を作成するにあたって、どのような調査を実施し、どのような手法で3次元モデルを構築したか、そしてそれによりどのようなことが明らかになっ

たのかを簡単に紹介したいと思います。

なお3次元地質地盤図は、産総研のウェブサイト(「都市域の地質地盤図」<https://gbank.gsj.jp/urbangeol/>)で2018年3月から公開されており、誰でも自由に無償で閲覧することができます。是非ご覧になってください。また、3次元地質地盤図の取り組みの経緯や調査・解析手法の概要については、中澤ほか(2016)にも解説がありますのでご参照ください。

2. 経緯

産総研地質調査総合センターは、最新の地質研究成果に基づき、日本全国の地質図を整備しています。しかし、一般的な地質図は2次元の地形図(平面図)に地層の分布を図示したものであるため、地表の地質は分かるものの、地下の地質構造はわかりにくいところがあります。山岳地域など起伏の大きい地域では、専門家であれば地質図(平面図)に示された地層の分布から地質構造を読み取ることができますが、都市部など地形が平坦な平野部ではそうはいきません。地質図(平面図)で地下の地質構造を読み取る



第1図 3次元地質地盤図の表示例。
習志野市付近の5 km メッシュ立体図。高さの強調は10倍。

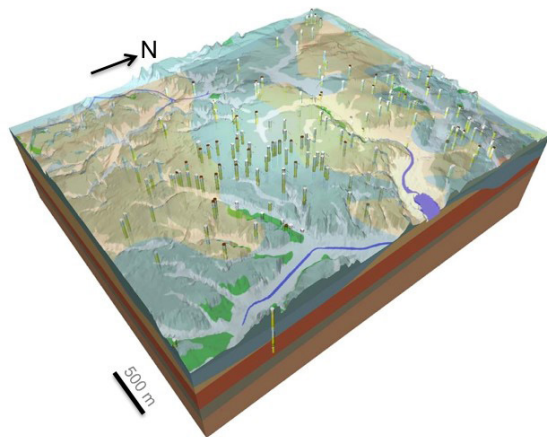
1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

2) 産総研 地質調査総合センター 研究戦略部

キーワード：3次元地質地盤図、関東平野、千葉、完新世、更新世、第四紀

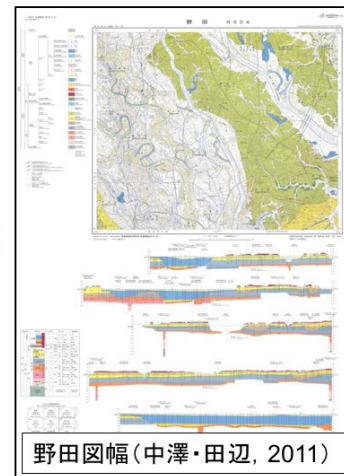
ウェブで公開する3次元地質地盤図

都市平野部の地下地質について、多様な表現が可能



紙で出版される2次元の地質図

地下地質の表現に限度がある



第2図 ウェブで公開する3次元地質地盤図の特長.

ことはもちろん、表現すること自体が困難でした。このため、平野部の地質図幅では他の地域よりも地下の地質構造が直接わかる地質断面図を多く掲載するなどの対応をしていましたが、この対応にも紙面の関係から限度がありました(第2図)。

そんな折り、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により、千葉県をはじめとする一部の沿岸域や河川沿いでは、地盤の液状化が発生しました。また、この地震による液状化などの被害の状況には地域差があり、各地域の地質構造が被害に大きな影響を及ぼしたことが明らかとなりました(千葉県環境研究センター、2011など)。また近年、しばしば工場などで使用された有害物質が地下へ漏洩し、地下の地質を汚染する問題が表面化しています。汚染物質を拡散させる地下水の流れを知るため、より詳しい地下の地質情報が地質汚染対策で求められるようになってきています(風岡ほか、2013など)。しかしこれまで、土木・建築工事などを目的とするボーリング調査のデータ集積は行われてきましたが、広域にわたる地下の地質構造を明らかにすることを目的とした調査・解析は充分には行われてきませんでした。そのため、都市部地下の地質構造に関する情報整備が強く求められていました。

そこで経済産業省は、2013年に策定した「第2期知的基盤整備計画」で、重点項目として都市平野部の地質情報の整備に取り組むことにしました。同年、それを受け産総研は、ボーリングデータを活用した都市平野部の地質情報整備に着手しました。その際、地下の表現が難しかった従来の紙ベースの2次元の地質図にかわって、ウェブでの

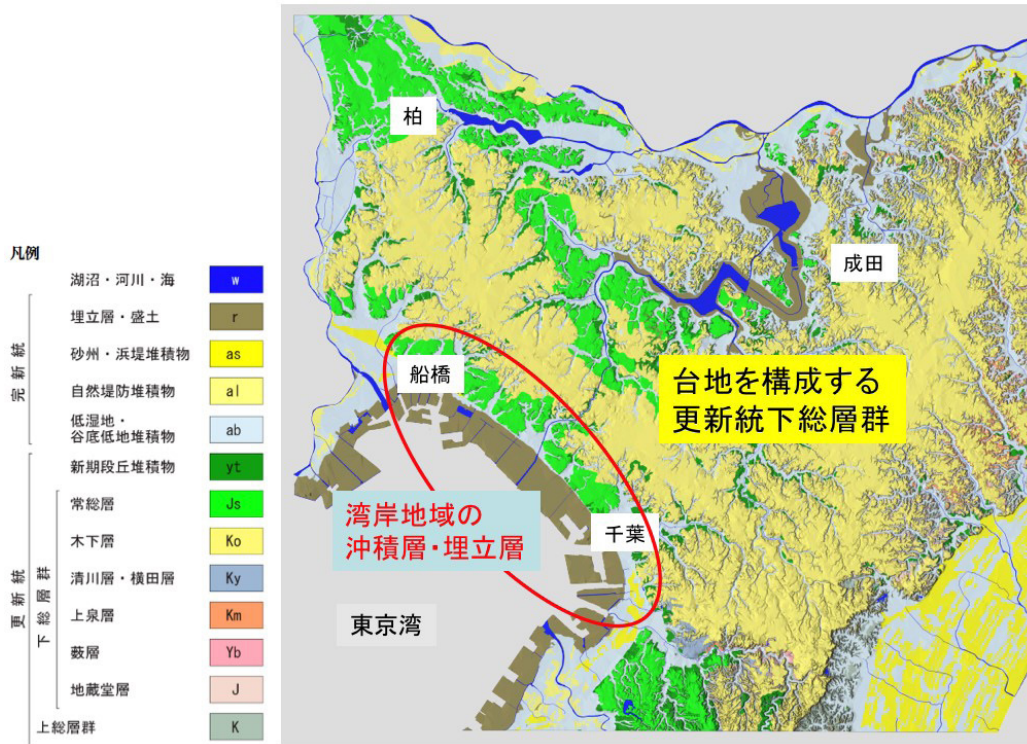
公開を前提とした3次元の地質地盤図を作成してはどうかと考えました。こちらのほうが地下の多様な表現ができるためです(第2図)。最近の情報技術の進歩により、それが実現可能であると判断しました。

3. モデル地域の設定

さて都市平野部の調査・解析に取り組むことにしたものの、3次元の地質情報整備は初めての試みです。そのため、まずはモデル地域を設定して、どのような地質情報整備が可能か、試行してみることにになりました。

モデル地域は、今後の首都圏の調査を効率的に展開するために、関東平野を形成する地層が典型的に分布している、千葉市や船橋市、柏市を含む千葉県北部地域を選定しました(第3図)。この地域には関東平野に広く発達する台地が典型的に分布します。台地を構成する更新統下総層群の各層の模式地は千葉県中部地域(多くは木更津市や袖ヶ浦市)に設定されていますが、模式地付近の下総層群は隆起により露頭で地層が観察されることもあり詳細な調査研究がされています(徳橋・遠藤、1984など)。しかしこれらの地層が地下に潜る千葉市以北でそれらがどのように追跡されるかはよく分かっていませんでした。つまり関東平野の地下の更新統を理解するには、模式地を起点として、まずは下総層群が地下に潜り始める千葉県北部地域から調査をスタートさせるのが最も効率的であると考えました。

また千葉県北部地域には東京湾岸地域及び河川沿いの低地に沖積層が分布します。湾岸地域ではそれを覆って埋立



第3図 モデル地域に設定した千葉県北部地域の地質。

層が分布します。この埋立層は2011年の東北地方太平洋沖地震の際に液化化し、建物やライフラインに深刻な被害を生じさせたことが知られています(千葉県環境研究センター, 2011)。液化化の調査では、工学的な解析もさることながら、まずは沖積層及び埋立層がどのような層相からなり、それがどのように分布しているかを知ることが必要です。千葉県北部の湾岸地域は、これらの地層が典型的に分布する地域であり、そしてまさに地盤災害を経験した地域です。

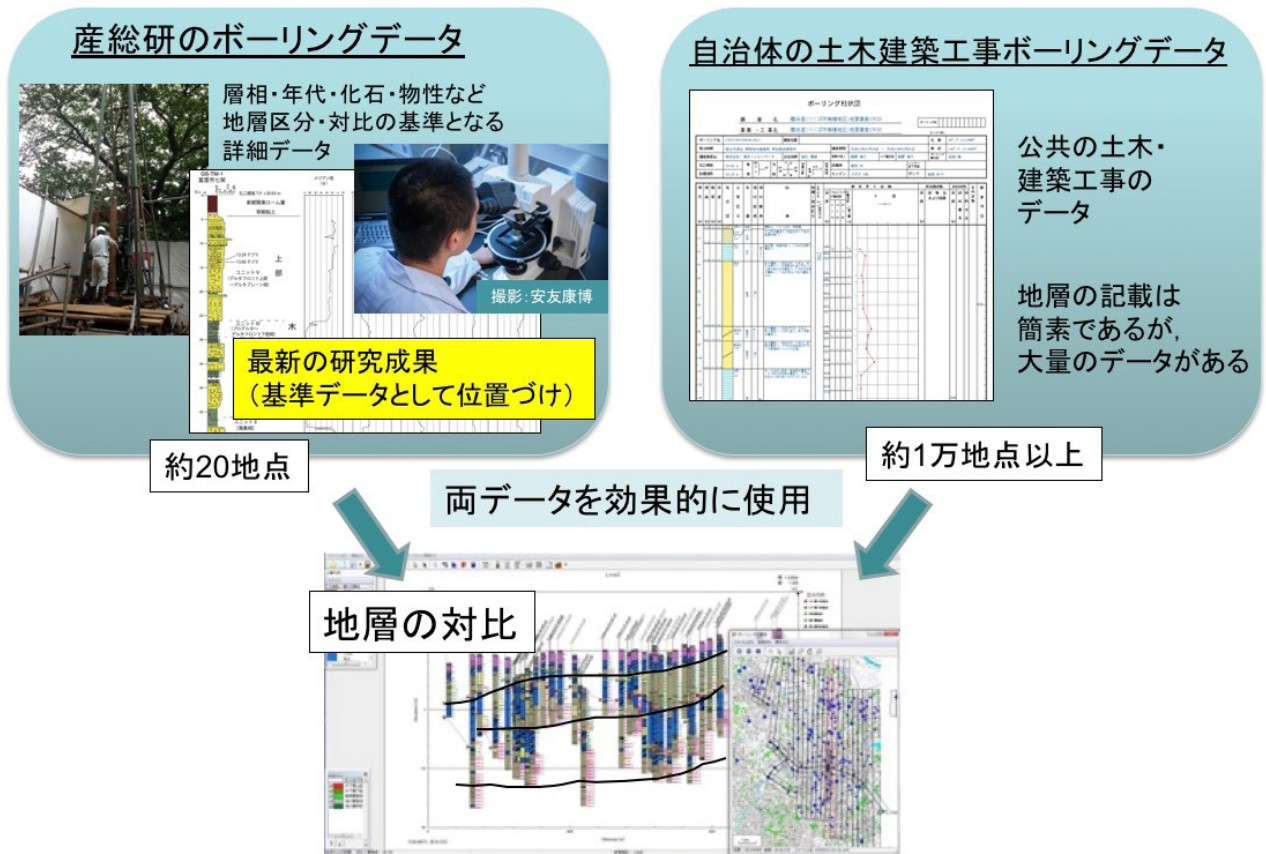
このようにモデル地域として選定した千葉県北部地域は、首都圏の地質情報整備を実施するうえで、知っておくべき地質要素が凝縮された地域であると言えます(第3図)。

4. 調査及びモデリングの手法

今回、地下地質構造の解析には、千葉県環境研究センターの協力を得て、千葉県が保有する土木・建築工事のボーリング調査データを活用させていただきました。また、産総研は要所で独自にボーリング調査を実施し、地質構造解析の基準となる詳細な地質データを取得しました。この両者のデータを効果的に使用し、有機的に結びつけることで、整合性のとれた信頼性の高い地下地質構造の解析

が可能となりました(第4図)。

具体的には、ちば情報マップで公開されている千葉県が保有する約1万地点以上の土木・建築工事のボーリング調査データ(千葉県地質環境インフォメーションバンク, 2018)を地質構造解析に活用させていただきました。土木・建築工事のボーリング調査データは地層の記載は簡素ですが、大量のデータがあることが大きなメリットとなります。また地層の固さ軟らかさの目安となる標準貫入試験の結果(N値)が付されていることも特徴です。一方、産総研は地質構造解析の基準となる地層区分を定めるため、約20地点で掘進長40~120m程度のボーリング調査を独自に行いました。これを私たちは基準ボーリング調査と呼んでいます。この調査ではそれぞれの地層の層相や堆積環境、年代を特定するとともに、工学分野への橋渡しのデータ取得としてPS検層も実施しました。基準ボーリング調査からは、地質構造解析の鍵となる最新の地質学的知見に基づいた高精度な地質情報が得られます。解析においては、産総研の基準ボーリング調査データを軸として、土木・建築工事のボーリング調査データに地層の対比を行うことで、信頼性を高めながら地層の境界面の深度を割り出していきました(第4図)。この地層対比作業は、実際にボーリングコア試料を観察している研究者により手作業で行いました。千葉県環境研究センターの研究者も分担し



第4図 利用したボーリング調査データとその対比。

てくございました。

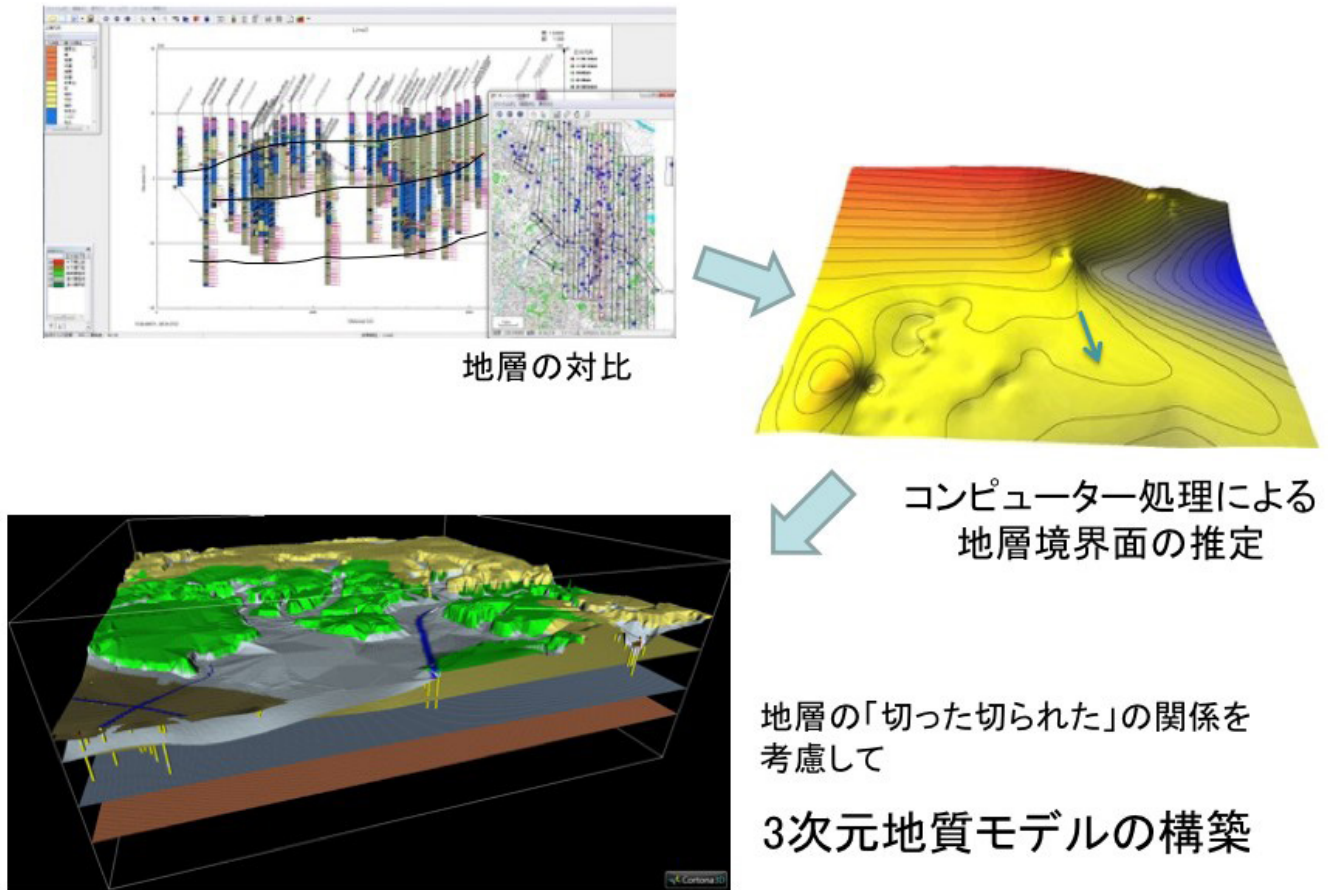
続いて、割り出した地層境界の深度や分布状況を基に、コンピューター解析によって3次元地質モデルを作成しました(第5図)。3次元地質モデルの作成ではまず、ボーリング調査データでの地層境界の深度情報を利用して、地層境界面の形状を推定します。この推定処理には、地層境界面が指定した深度よりも上または下を通るといった情報も利用することができる、独自の解析手法(野々垣ほか, 2008)を利用しました。ここでは下総層群の各層、及び沖積層、埋立層のそれぞれ基底の地層境界面を推定しました。そして、これら地層境界面を重ねることで3次元地質モデルを構築するわけですが、推定処理を終えた段階では、各地層境界面は推定した範囲全域に面の形状情報をもっています。しかしながら、関東平野をつくる地層は侵食と堆積の繰り返しによって形成されたものであるため、地層は他の地層を切ったり(削剥して上に重なったり)、あるいは切られたり(削剥されたり)して分布しています。つまり、必ずしも推定処理を行った範囲全域に、全ての地層境界面が分布するわけではありません。ここでは、この地層の「切った切られた」の関係を、地質層序研究により

明らかにされた地層の形成過程をもとに、数値モデル化(地質構造の論理モデル; 塩野ほか, 1998)し、この数値モデルと地層境界面の情報を組み合わせることで3次元地質モデルを作成しました。これにより、地下の地質構造を的確に解析できるようになり、さらには地層の3次元的な広がりやをパソコン画面上で立体図として表示できるようにもなりました(第5図)。

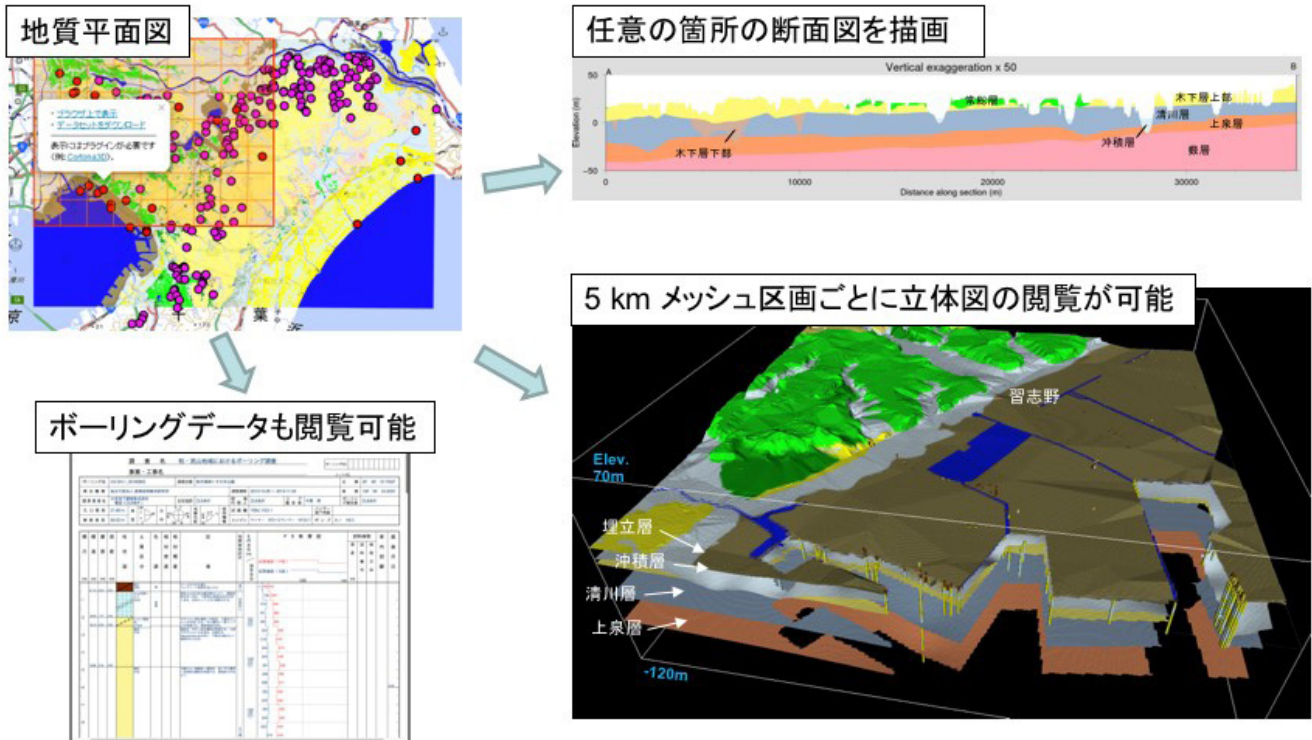
5. 閲覧可能な地質情報

現在地質地盤図ウェブサイトで公開しているのは、3次元的な立体図、任意箇所地質断面図、そして地質平面図と柱状図データで、ウェブサイトへアクセスすれば、誰でも自由に無料で閲覧できます(第6図)。

立体図データは、VRML形式であるためプラグイン(例えばCortona3D Viewer)が必要となりますが、一般的なウェブブラウザを用いて利用できます。千葉県北部地域全域の広域立体図のほか、より詳細な5 kmメッシュごとの立体図を地図上で選択して閲覧できるようになっています。5 kmメッシュの立体図には層相を色分けしたボーリン



第5図 3次元地質モデリングの手順.



第6図 3次元地質地盤図で提供される地質情報.

グ柱状図データを串刺し状に配置することにより、各層の層相及びその変化がだいたい分かるようにしています。

3次元モデルの数値データをもとに、従来の2次元地質図ではできなかった任意の箇所の地質断面図の表示も可能となりました。これにより見たい場所の地下を簡単に見ることができるようになりました。立体図よりもむしろこの任意箇所の地質断面図のほうが、地下の地質構造が分かりやすいことも多いと思います。また、通常の地質図(平面図)も作成しました。この地質図(平面図)も地形区分データと地下の3次元地質モデルからコンピュータ処理により描画したものです。地質図の基本的な縮尺は2万5000分の1で、ウェブ上のズームイン/ズームアウト機能により、興味のあるエリアを拡大して詳細に見ることができます。この地質図(平面図)をインデックスマップとして、立体図や地質断面図作成位置を指定できるようにしています。

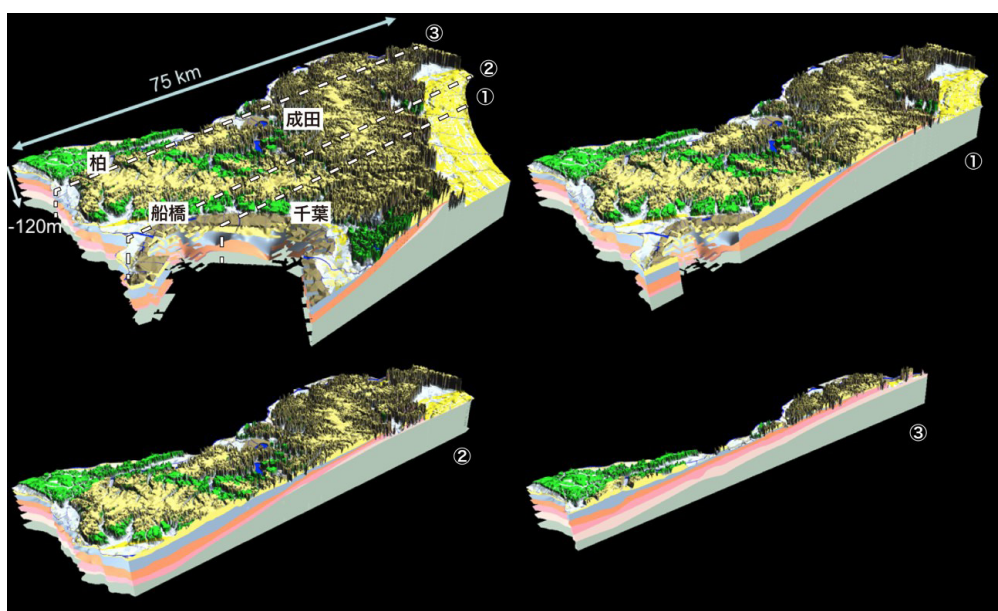
さらに3次元地質モデルの構築に使用した基準ボーリング調査データも閲覧できるようにしました。基準ボーリング調査データには柱状図で層相が表現されているほか、PS検層や密度検層データも示されています。2次利用がしやすいボーリング交換用XMLファイル(通称、JACIC様式のXMLファイル)もダウンロードできるようにしました。これら基準ボーリング調査のデータ地点も前述の地質図(平面図)上にプロットされており、地図上で選択して閲覧できるようにしています。

また調査地域の東部は隆起により下総層群が露頭で観察可能なため、従来から詳細な層序研究がなされていま

す。地質地盤図では中里・佐藤(2016)にまとめられたこの地域の露頭柱状図も閲覧できるようにしています。これらの露頭柱状図は層序研究で得られたデータですので、基準ボーリング調査データに準ずる信頼できるデータとしてモデリングにも使用しています。

6. 3次元地質地盤図作成で明らかになった千葉県北部地域の地質

以上のような地質地盤図作成のための一連の調査・解析により、千葉県北部地域の地下数10mまでの地質の詳細が分かってきました(納谷ほか, 2018)。千葉市以北ではこれまで層序データに基づく地層の対比が充分に行われていなかったことから、更新統下総層群の各層がどの深度にどのように分布するかはっきりとは分かっていませんでした。そのため産総研の基準ボーリング調査では、まずこの地域の下総層群の層序を明らかにすることに重点を置きました。その結果、下総層群特有の堆積サイクルの認識と鍵層となるテフラの検出を各所で行うことができ、模式層序(徳橋・遠藤, 1984)に倣った地層の区分を千葉県北部地域の地下でも行うことができるようになりました。この基準ボーリング調査の結果をもとに既存のボーリング調査データについて地層の対比を行い、3次元地質モデリングを実施することで、今回、下総層群の地層が千葉県東部あるいは北東部から西部の東京湾に向かって累積的に傾動し、東京湾側で地層が厚くなる様子を明確に示すことができました(第7図; 納谷ほか, 2018)。従来からこの地域



第7図 更新統下総層群のスライスモデル。太平洋側が隆起し、東京湾側が沈降する地質構造が明確に示された。

では、既存の深井戸や土木・建築工事のボーリングデータをもとに、東京湾側が沈降し、太平洋側が隆起する地質構造がおおよそ推定されていました。しかし、きちんとした地質学的根拠、すなわち基準ボーリング調査によって得られた地質層序データを軸にその地質構造が示されたのは初めてのことです。また下総層群の調査・解析では、一般的に良好な地盤とされる台地の地下にも軟弱な泥層が谷埋め状に分布していることも明らかになりました(Nakazawa et al., 2017)。

東京湾岸地域の地下に分布する、約2万年前以降に形成された軟弱な地層(沖積層)や埋立層の分布状況も以前に比べかなり詳細に明らかになってきました(第8図; 小松原ほか, 2017)。特に東京湾岸地域には小規模な谷地形と波食台状の侵食地形が入り組んで埋没して分布していること、そして谷の部分には軟らかい沖積層の泥層が厚く分布することが明らかになりました。また、この地域の埋立層は沖合の底質の堆積物を浚渫したものであるため、自然の地層(沖積層)との区別が難しいのですが、詳細なコア観察をもとに埋立層と沖積層との判別のポイントを明らかにし、両者を的確に区分することができるようになりました(小松原ほか, 2017)。また3次元地質モデリングによりその広がりも明らかにすることができました。

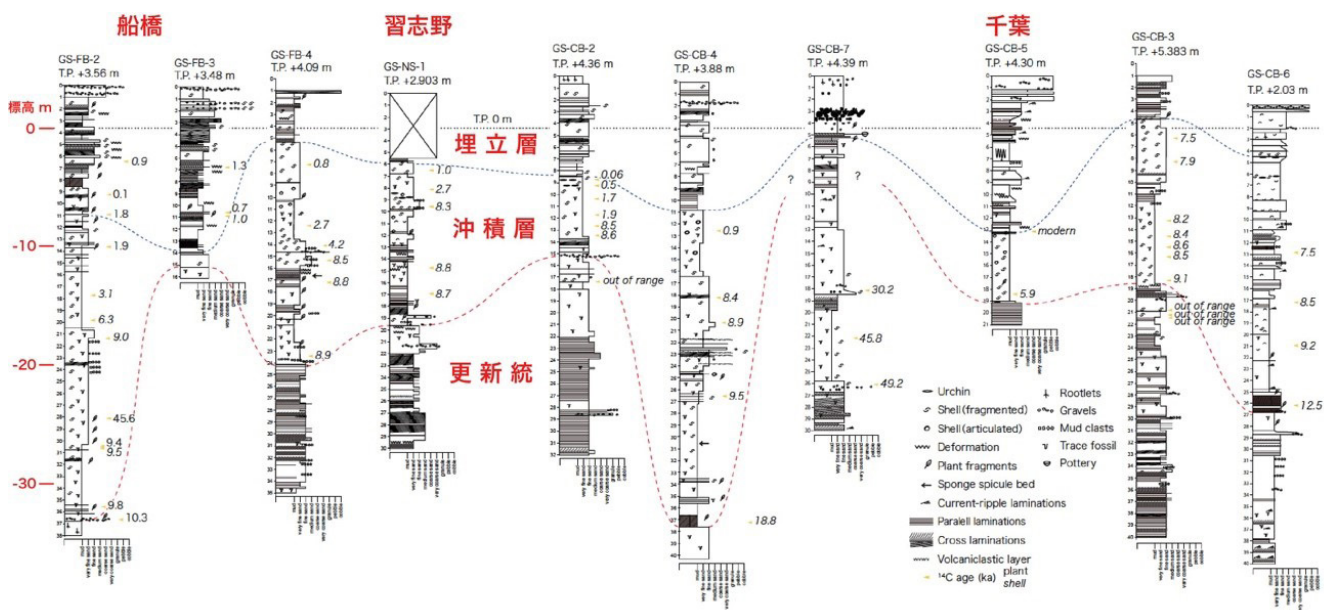
このような詳細な地層の分布状況は、地震の揺れの大きさや液化発生予測をはじめとして、地下水流動の理解に基づく地質汚染対策、都市のインフラ整備や産業立地計画の立案、不動産取引などへも活用されることが期待されます。

また、一般の方々には、3次元地質地盤図を利用して住んでいる場所の地下の地質構造について理解を深めることで、防災・減災への意識向上にもつながると期待します。

7. 今後の予定

今回、千葉県北部地域の3次元地質地盤図を、当初からの目標であった2017年度内にどうにか公開することができました。今後は、まず3年後を目処に、東京都23区の3次元地質地盤図の完成を目指します。東京都23区の3次元地質地盤図は東京都土木技術支援・人材育成センターとの共同研究として実施しています。その後は神奈川県・埼玉県に範囲を広げ、首都圏の広域のシームレスな3次元地質情報を整備することを考えています。首都圏での生活や産業の基盤となる防災・減災等に貢献していければと思っています。

謝辞: 千葉県北部地域の3次元地質地盤図は、本稿著者のほか、地質情報研究部門の納谷友規、小松原純子、宮地良典の各氏、農研機構の中里裕臣氏、そして共同研究を実施した千葉県環境研究センターの風岡 修氏、潮崎翔一氏ほか、多くの方々のご尽力により作成されました。また、地質調査総合センター研究企画室及び地質情報研究部門幹部の皆様には、本課題の立案から、実際の調査・解析、そして成果の公表に至るまで、さまざまな場面でご支援頂きました。校閲において副編集委員長の中島 礼氏から頂い



第8図 湾岸低地の沖積層と埋立層。
小松原ほか(2017)を一部改変。

た的確なコメントにより、原稿が改善されました。皆様
深く感謝いたします。

文 献

- 千葉県地質環境インフォメーションバンク (2018) 地質
柱状図。ちば情報マップ, <http://map.pref.chiba.lg.jp>
(2018年1月16日 確認)。
- 千葉県環境研究センター (2011) 千葉県内の液状化—流動化現象とその被害の概要及び詳細分布調査結果(第
4報): 浦安地区でみられた液状化—流動化現象の詳細分布・地震のゆれ方と液状化—流動化現象との関係・
千葉市美浜区での人工地層および沖積層の概略的な3次元分布と液状化—流動化現象の分布の概要(2011
年12月28日公表)。千葉県環境研究センター調査研究報告, 第G-8号, 4-1-4-69。
- 風岡 修・吉田 剛・藤ヶ崎 稔・清水健一・長根山皓介・
鈴木博也・楠田 隆・酒井 豊・楡井 久 (2013)
下総台地中央部の更新統の透水層構造と地下水質の概
要—印西市~八千代市について—。第23回環境地質
学シンポジウム論文集, 地質汚染—医療地質—社会地
質学会, 69-74。
- 小松原純子・宮地良典・中澤 努・中島 礼・風岡 修・
吉田 剛 (2017) 千葉県東京湾岸部で掘削した沖積
層基準ボーリング試料の対比と層序。地質調査総合セ
ンター速報, no. 74, 31-37。
- 中里裕臣・佐藤弘幸 (2016) 千葉県北部地域の下総
層群の層序。地質調査総合センター速報, no. 71,
55-78。
- 中澤 努・田辺 晋 (2011) 野田地域の地質。地域地質
研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総
合センター, 72p。
- 中澤 努・野々垣進・宮地良典 (2016) 都市域の3次
元地質地盤図—都市平野部の新たな地質情報整備—。
シンセシオロジー, 9, 73-85。
- Nakazawa, T., Sakata K., Hongo, M. and Nakazato, H.
(2017) Transition from incised valley to barrier
island systems during MIS 5e in the northern
Chiba area, Kanto Plain, central Japan. *Quaternary
International*, 456, 85-101。
- 納谷友規・野々垣 進・小松原純子・宮地良典・中澤 努・
風岡 修・潮崎翔一・香川 淳・吉田 剛・加藤晶子・
八武崎寿史・荻津 達・中里裕臣 (2018) 都市域の
地質地盤図「千葉県北部地域」(説明書)。産総研地質
調査総合センター, 55p。
- 野々垣 進・升本眞二・塩野清治 (2008) 3次B-スプ
ラインを用いた地層境界面の推定。情報地質, 19,
61-77。
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2018) 都
市域の地質地盤図, <https://gbank.gsj.jp/urbangeol/>
(2018年5月17日確認)。
- 塩野清治・升本眞二・坂本正徳 (1998) 地層の3次元
分布の特性と地質図作成アルゴリズム—地質構造の
論理モデル—。情報地質, 9, 121-134。
- 徳橋秀一・遠藤秀典 (1984) 姉崎地域の地質。地域地質
研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 136p。

NAKAZAWA Tsutomu and NONOGAKI Susumu (2018)
Release of the Urban Geological Map of the northern
area of Chiba Prefecture: Development of 3D geoinfor-
mation in the metropolitan area.

(受付: 2018年5月11日)

タイ・バンコクにて東南アジア初の 熱応答試験実施

内田洋平¹⁾・藤井 光²⁾

産総研・地下水研究グループと地中熱チームでは、東・東南アジア地球科学計画調整委員会(以下、CCOP)の下で、地中熱ヒートポンプシステムに関するプロジェクト研究“Development of Renewable Energy for Ground-Source Heat Pump System in CCOP Regions”を2013年度より実施しています。東南アジアなどの熱帯地域では地中熱利用システムの設置実績が無く、省エネルギー・温暖化対策の観点からその普及は重要と考えられます。しかしながら、暖房の需要はほとんどなく、冷房運転のみであるため、地下への効率的な廃熱が求められます。また、東南アジア地域の地下地質構造や水文環境は、日本の平野や盆地と類似点も多いため、産総研地中熱チームが実施している「地域の水文環境を活用した地中熱システム」の研究手法が適用できると考えられます。

そのような中で、これまでにタイ王国のバンコクに位置するチュラロンコン大学、サラブリー県のチュラロンコン大学実験場、パトゥムターニー県のタイ国立地質博物館(鉱物資源局所属)の3カ所で地中熱ヒートポンプシステムの実証試験を行っています(内田, 2015)。さらに、ベトナム地球科学鉱物資源研究所(ハノイ)においても、同様の実証試験を実施しており長期モニタリングを行っています(内田, 2016)。これまでの実証試験で、バンコク・チュラロンコン大学のシステムでは、成績係数(Coefficient of Performance: COP)が約4.5、消費電力の削減量は通常のエアコンと比較して約30%を示しました。しかしながら、地盤の地下水流動状況や熱物性は不明でした。

地中熱ヒートポンプシステムの性能を大きく左右するもののひとつに地盤の熱特性、すなわち熱の伝えやすさ(熱伝導率)があります。地中熱の研究分野においては、熱伝導率については以下の3種類があります。

- ・熱伝導率: 地層や岩石の固相が有する熱物性。空隙は不飽和(水分量ゼロ)状態
- ・有効熱伝導率: 地層や岩石の空隙が水で飽和された状態における熱伝導率
- ・見かけの熱伝導率: 地層や岩石の空隙中の水が流動し

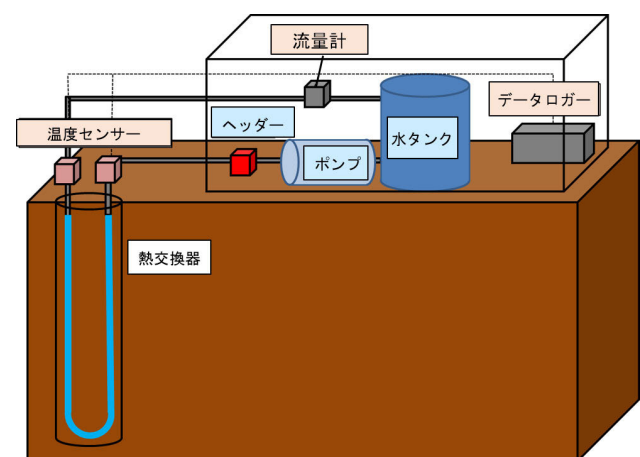
ている状態における熱伝導率

通常は見かけの熱伝導率が指標となり、地下水の流れが速いほど、見かけ熱伝導率の値が大きくなり、地中熱システムの冷暖房において採熱・廃熱の効率の良い地盤であることを示しています。

タイやベトナムなど多くの東南アジア地域は、日本の平野や盆地と同様に第四系堆積層が厚く堆積しており、堆積層の熱伝導率はヨーロッパなどの大陸地域の岩盤と比べて小さいものの、地下水が活発に流れているため、日本と同様に見かけの熱伝導率は大きいことが期待されます。

そこで、現地における地盤の熱物性(熱伝導率)を明らかにするため、2018年2月13日から16日にかけて、秋田大学国際資源学研究科との共同で、チュラロンコン大学バンコクキャンパス内において熱応答試験を実施しました(第1図)。

熱応答試験(Thermal Response Test, TRT)とは、地中熱交換器に熱負荷を与えた循環流体を循環して得られる循環流体温度や地中温度の経時変化(第2図)より、地盤の熱物性や熱交換能力を推定する地盤調査試験であり、試験結果は地中熱交換機の本数・長さを決定するためのデー

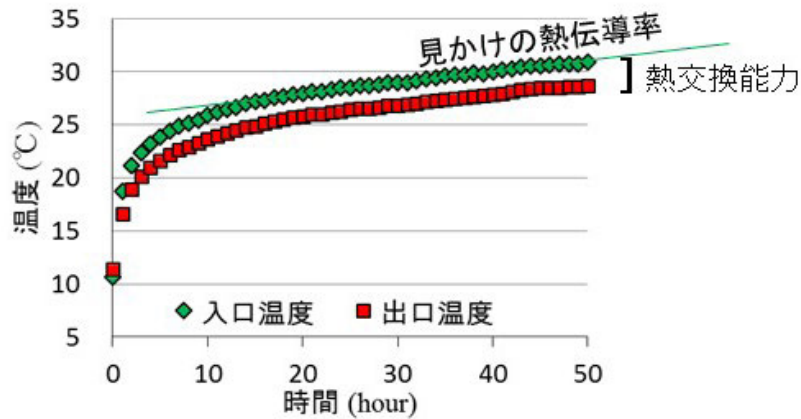


第1図 熱応答試験装置の概要。

1) 産総研 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門

2) 秋田大学大学院 国際資源学研究科

キーワード: 熱応答試験, 東南アジア, CCOP



第2図 熱交換器の入口・出口温度変動.



写真1 既設の熱交換器の配管を掘り起こす.

タとして利用されます。地中熱交換器から得られる熱交換量は、地質や地下水流動状況によって大きく異なります。日本国内において居住地域の多くを占める平野部では、地層の不均質性が大きく、また熱交換能力に大きな影響を与える地下水の存在も局所的な推定は容易ではありません。したがって、熱応答試験によって事前に熱交換量を推定することは、地中熱利用システムの採算性向上に極めて重要です(地中熱利用促進協会, 2014)。

チュラロンコン大学における熱応答試験の実施に当たっては、すでに設置・稼働している深さ 50 m の熱交換器を地中熱ヒートポンプシステムから分離し、熱応答試験機と接続して行いました(写真 1, 2)。熱応答試験機は一般的には大型で重量のある装置のため、海外への輸送は困難な

場合が多いのですが、秋田大学が製作した熱応答試験機は、一式で約 36 kg と小型・軽量のため、日本からの輸送が容易でした(写真 3)。

本熱応答試験は東南アジアでは初めての試みであり、試験解析結果より、バンコク市内の実証試験地における地盤の見かけの熱伝導率は、約 1.8 W/(m·k) と推定されました。この数値は日本における一般的な土壌の見かけの熱伝導率(1.2 ~ 1.5 W/(m·k))と比較するとかなり高い値であり、実証試験地周辺では比較的活発な地下水流動が存在し、地中熱利用に適した地域と推定されました。

今後は、タイ国内における他の実証試験地やベトナム・ハノイなど、複数の地域において熱応答試験を実施し、地中熱システムの長期冷房試験データと併せて解析し、



写真2 既設の熱交換器と熱応答試験機を配管接続.



写真3 熱応答試験の実施風景. 左は循環ポンプ装置, 右は制御関係の装置.

東南アジアにおける地中熱ポテンシャル評価につなげていく予定です.

文献

内田洋平 (2015) タイにおける地中熱ヒートポンプシステム実証試験. GSJ 地質ニュース, 4, 306-308.

内田洋平 (2016) ベトナム地球科学鉱物資源研究所地中熱ヒートポンプシステム設置工事. GSJ 地質ニュー

ス, 6, 140-142.

地中熱利用促進協会 編 (2014) 地中熱ヒートポンプシステム施工管理マニュアル, オーム社, 184p.

UCHIDA Yohei and FUJII Hikari (2018) First thermal response test in Southeast Asia.

(受付:2018年5月11日)

CCOP-GSJ-MME Groundwater Project Phase III Meeting 開催報告

内田洋平¹⁾・シュレスタ ガウラブ¹⁾

2018年3月5日(月)～7日(水)の3日間、カンボジア・シェムリアップにおいて、CCOP-GSJ-MME 地下水プロジェクトの会議が開催されました。会議には、東・東南アジア地球科学計画調整委員会(CCOP)加盟国である11ヶ国(カンボジア、中国、インドネシア、日本、韓国、ラオス、マレーシア、ミャンマー、パプアニューギニア、フィリピン、タイ)とCCOP事務局から、計27名が参加しました。本会議は2014年度に開始した地下水プロジェクト・フェーズⅢの年次会議であり、今回は、カンボジア鉱物エネルギー省(Ministry of Mines and Energy : MME)がホスト機関として共催しました(写真1)。

議事は、(1)開会、(2)フェーズⅢプロジェクトの概要及び現状説明、(3)各国のカントリーレポート、(4)ディスカッション、(5)特別講演、(6)巡検という内容でした。日本からは、内田洋平(産総研地質調査総合センター(GSJ)/プロジェクトリーダー)、シュレスタ ガウ

ラブ(GSJ)、塚脇真二(金沢大学)の3名が参加しました。

開会挨拶に引き続き、内田よりプロジェクト・フェーズⅢの概要及び現状説明を行いました。フェーズⅢでは、CCOP 地下水データベースの対象国を拡充すること、及び、データベースをOpen Web GISシステム上に構築することを目指しています。しかし、地下水観測システムやデータベースの開発現状は国々で異なっているため、加盟国を3つのグループに分けて活動を行っています(DB Group I, DB Group II, Public Policy Group)。また、データベース構築はCCOP地質情報総合共有システム(GSi)プロジェクトとリンクしており、これまでに7カ国(インドネシア、日本、韓国、マレーシア、フィリピン、タイ、ベトナム)が地下水データを提出し、日本側でGSiポータルサイトへのデータ登録を行いました。昨年度の会議におけるカントリーレポートは“Report of the CCOP-GSJ Groundwater Project(GW-7)”(地質調査総合センター、2018)として



写真1 参加者の集合写真。

1) 産総研 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門

キーワード：CCOP、地下水プロジェクト会議、カンボジア

2018年2月に出版されました。

また、サブプロジェクト“Development of Renewable Energy for GSHP System in CCOP Region”の下で実施しているタイ、ベトナム、インドネシアにおける地中熱ヒートポンプシステム実証試験の状況や、2018年3月にタイ・チュラロンコン大学敷地内で実施した熱応答試験結果が報告されました。

今回のカントリーレポートのテーマについては、データベース作成グループとパブリックポリシー作成グループとに分かれており、それぞれ“Explanation documents for the country’s capital city or representative area in DB1& DB2”と“Public policy for groundwater observation system in Public Policy Group”でした。データベース作成グループでは、GSiポータルサイトに地下水データをアップロードした地域における解説と地下水問題や法規制などについて発表が行われました。パブリックポリシー作成グループでは、自国の地下水問題と、それに対処するための地下水モニタリング方法や管理体制などに関する今後の計画や方針について発表が行われました。なお、カントリーレポートの内容は、“Report of the CCOP-GSJ Groundwater Project (GW-8)”としてGSJから出版する予定です。

2日目の午前は、まず、シュレスタ ガウラブが3つのグループ(DB Group I, DB Group II, Public Policy Group)の2017年から2018年の活動方針をレビューし、本会議で期待される成果について説明を行いました。その後、グループに分かれて、2016年と2017年の活動状況及びデータベースのコンパイル状況を確認し、2018年のコンパイル方針を話し合いました。その後、各グループリーダーより検討結果が報告されました。

各グループの主な報告内容は以下の通りです。

DB Group I, DB Group II

- ・中国：2015～2017年の年報に記載された地下水モニタリングデータをプロジェクトの標準エクセル形式に変換し、政府の許可を得た後に提出する(2016～2017年ワークプラン未完)。
- ・日本：2018年度は、仙台平野の地下水データをアップロードする。
- ・韓国：2018年度も引き続きアップロードを継続し、GSiプロジェクトの韓国ナショナルコーディネータがデータのアップロード作業を行う。
- ・タイ：2017年度に引き続き、2018年度もコンケン地方の地下水データを追加。また、GSiプロジェクトのタイ国ナショナルコーディネータがデータのアップ

ロード作業を行う。

- ・インドネシア：2018年度はボルネオ島の地下水データを追加し、GSiプロジェクトのインドネシア・ナショナルコーディネータにデータのアップロード作業を依頼する。
- ・マレーシア：2018年度は、ケダ州の地下水データを追加し、GSiプロジェクトのマレーシア・ナショナルコーディネータにデータのアップロード作業を依頼する。
- ・フィリピン：2018年度はブラカン州とヌエヴァ・ヴィスカヤ州のデータを追加し、GSiプロジェクトのフィリピン・ナショナルコーディネータにデータのアップロード作業を依頼する。
- ・2018年度の地下水データアップロード作業は10月1日までに完了し、2018年CCOP年次総会でGSiポータルサイトととして公開する。
- ・今後のデータベース活用方法や各国におけるデータ整備体制の強化について、引き続き議論していく。

Public Policy Group

各国とも2018年について以下の計画を確認しました。

- ・地下水モニタリングと地下水管理プログラムの計画案をCCOP事務局に提出
- ・各国で地下水資源管理を担当する機関や担当者のリストを提出、などです。

午後は、招待講演として以下の3件の特別講演が行われました。

- ① The role of water in the conservation of the Angkor World Heritage Site, Cambodia
(Dr. Hang Peou, APSARA National Authority.)
- ② Groundwater modeling of arsenic contamination in the aquifer of Mekong Delta Cambodia
(Dr. May Raksmeay, Angkasa Consulting Services, Malaysia)
- ③ Arsenic removal using Cambodia laterite
(Dr. Pich Bunchoeun, Institute of Technology of Cambodia)

Dr. Hang Peouの講演では、世界遺産であるアンコールワット遺跡の管理・保全に関して、水問題、特に地下水問題の重要性が示されました。近年、アンコールワット遺跡を有するシェムリアップ地区では、数多くのホテルが建設されており、水不足の問題が顕著となってきました。それぞれのホテルが井戸を掘削して地下水を大量に利用して



写真2 日本が支援した浄水施設.



写真3 世界最大級の貯水池・西バライ.

いますが、地域の地盤沈下を引き起こし、それが遺跡の崩壊につながる恐れが高くなっています。また、Dr. May Raksmeay と Dr. Pich Bunchoeun の講演では、カンボジアにおける地下水管理を目的とした地下水モデルの概要と、地下水のヒ素問題について紹介がありました。地下水のヒ素問題については、ラテライトを使用したヒ素の除去方法の研究開発が進められています。

会議の3日目はMMEの主催、金沢大学 塚脇真二教授の案内で、アンコールワット遺跡周辺及びトンレサップ湖の巡検が行われました。アンコール地域では、多くのホテルに水を供給するための上水道システムが設置されています。その水源は地下水であり、浄水場の建設や技術移転については日本政府が支援しています(写真2)。また、アンコール地域では、11世紀頃から貯水池の建設が始められ、現在では、アンコールトム遺跡の西側に位置する西バライは世界最大級の貯水池となっており、東西8 km、南北2.1 kmの長方形を呈しています(写真3)。バライとは貯水池のことです。建設当初のバライは、ヒンドゥー教の象徴的な役割があったようですが、現在では農業用の灌漑水源として使用されています。

トンレサップ湖は東南アジアで最大の湖であり、乾季と

雨季との間で、その面積の拡大と縮小現象が起こります。乾季では水深が1 m程度で面積は2,500 km²(琵琶湖の4倍程度)であるのに対し、雨季は水深が6 m程度まで増加し、面積も乾季時の6倍に達します。数多くの魚類が生息しており、水上生活者の規模も世界最大といわれています。

今回の地下水会議は、Phase IIIプロジェクトが開始されて4回目の会議となりました。カントリーレポートにより、各国の地下水データベースの状況や課題を把握することができ、2日目のグループディスカッションによって、本プロジェクトの成果物の姿が明確になりました。次回の会議(2019年 タイ・チェンマイで開催予定)は本プロジェクトの最終会議となるため、今年度はプロジェクトのとりまとめを確実に実行するための運営を行う予定です。

文 献

地質調査総合センター(2018) Project Report of the CCOP-GSJ-GA Groundwater Phase III Meeting, 21-23 March 2017, Bali, Indonesia. Geological Survey of Japan, AIST, 115p.

UCHIDA Yohei and SHRESTHA Gaurav (2018) Report on CCOP-GSJ-MME Groundwater Phase III Meeting.

(受付:2018年5月16日)

人類と気候の 10 万年史 過去に何が起きたのか、これから何が起ころのか

中川 毅 [著]

講談社 (ブルーバックス)
発売日: 2017 年 6 月 13 日 (第 5 版)
定価: 920 円 + 税
ISBN: 978-4-065020043
17.2 x 11.2 x 1.6 cm 並装
218 ページ



地質年代の決定は、地質調査を生業とする研究者にとって、重要な研究手法の一つである。地質年代を測定する為の物理的手法は、大まかな形成年代や測定対象の岩石や堆積物などその目的によって数多存在するが、第四紀後半の過去 5 万年までの堆積物の年代測定を行う手法としては、放射性炭素年代を用いた ^{14}C 法が一般的である。しかし ^{14}C 法は年代が古くなればなるほど大きな誤差が生まれることが知られており、このため、近年では ^{14}C 年代を暦年に較正することが一般的になっており、その精度を上げ、さらに適用期間を長くする研究が盛んにおこなわれている。較正には IntCal と呼ばれる換算表(較正曲線)、即ち“もの差し”を作る。そのためには確実に年代を特定できる物的証拠と ^{14}C 年代を付き合わせる事が鍵となる。例えば、古文書に降灰した年月日が記載された火山灰層中に植物や動物の遺骸が見つければ、降灰年代のと ^{14}C 年代の差分を把握することができる。樹木の年輪は 1 年に 1 枚成長することが知られており、しかも年輪自体は炭素で出来ている。ゆえに年輪に沿って ^{14}C 年代を多数測定することによって、過去数千年程度までの“もの差し”は作られるのである。

湖沼の底に溜まった堆積物は様々な底生生物の活動によって乱されていて、見た目では塊状に見えることが多い。また、しばしば洪水や地すべりが発生して粗い土砂が流入するのが普通である。ところが、これらが阻止されるような無酸素で静穏な環境下であれば、1 年間の季節変化を記録した数 mm ほどのラミナ(これを年縞と呼んでいる)が

明瞭に保存されるケースがある。年縞堆積物は、例えるならばドイツ菓子のバームクーヘンのように薄い層が幾重にも積み重なり縞模様をなしている堆積物である。これは樹木の年輪に相当するものであり、そして年輪よりも長い数万年の期間にわたって環境変化を記録することができる高精度のレコーダーとなる。

福井県の水月湖^{すいげつ}には保存状態の良い年縞堆積物が認められ、これと ^{14}C 法による年代測定を多量に用いたデータの検討を丹念に実施して世界標準の較正曲線を作成するプロジェクトが行われた。2012 年 7 月 13 日、パリ・ユネスコ本部で開催された国際放射性炭素会議の総会において、福井県の水月湖の年縞堆積物は最新の較正曲線である IntCal13 に採用された。これにより“レイク・スイゲツ”の年縞堆積物は、世界標準時計に認定され、世界の研究者が水月湖の年縞堆積物を“もの差し”として認めた。このプロジェクトを率いたのが、本書の著者である中川 毅教授(立命館大学古気候学研究センター長)である。

このたび、紹介する新書のタイトルは『人類と気候の 10 万年史』であるが、本書での記述の 50% 以上は水月湖で採取された全長 73 m のコアの解析から判明した 15 万年間の気候変動史にさかれている。その内容は最近の著者らによる年縞堆積物研究による新しい発見を中心として、特に我々人類にとって身近なテーマについて分かりやすく解説されている。タイトルの 10 万年史というのは、特にアフリカから世界に人類が拡散するに要した 10 万年という数字に拘ったネーミングなのであろう。



まず本書の第1～2章では、グリーンランドのアイスコアの過去6万年間の解析結果を例として、地球の気候変動のメカニズムや一般論を解説している。その気候変動のドライビングフォースとして、地球の公転軌道と気候の関連を示したミランコビッチ理論の解説を行い、その限界について論じている。気候変動とは線型モデルや周期モデルによって単純に示されるばかりではなく、未知なるカオスの世界も存在するとのことである。

第3章では、水月湖が年縞堆積物を残すための奇跡的な条件を備えていた背景と、より完全なコア試料を採取することへの著者らの努力の過程が子細に述べられている。そして第4章では、水月湖の年縞が世界標準の“もの差し”となっていくクライマックスへと展開していく。ここでは、採取された完全なコア試料をイギリス、ドイツの研究者を交えた国際チームにより高精度で年縞堆積物の解読を行うことによって、水月湖の年縞堆積物の全容が解き明される。そして水月湖がIntCal13に採用され世界標準時計になるまでの経緯を、プロジェクトリーダーの視線から熱く語られている。

第5～6章では、水月湖で得られた堆積物のコアに含まれている花粉分析の結果から明らかにされた15万年間の植生の変遷は、ミランコビッチ理論で説明できることが具体的に示されている。また、日本の表層花粉と気候のデータセットと自身で開発したソフトウェアにより、水月湖周辺の15万年間の気候変動の数値化を試みている。

第7章では気候変動に対応して進化してきた人類の歴史について、中川氏の視点から考察が試みられている。例えば、南米のマヤ文明の崩壊過程をカリブ海のカリアコ海盆から得られた年縞堆積物研究の結果から推定している。また、農耕が可能になった氷期の終わりに、縄文人の間でそれが拡がらなかった理由について、気候変化に対するリスクの大きい農耕生活と、生産性は低い気候変化に対する耐性のある狩猟生活のメリットとデメリットの比較を行っている。

水月湖のプロジェクトは現在も進行中であり、この書籍が執筆された時点においても完結してはいない。但し、これまでに多くの画期的な研究成果をあげていることで知られている。特に、この研究プロジェクトでは、気候変化の発生した年代を高精度で決めることができ、その変化のスピードも正確に掌握することが可能なのである。これによって最近明らかになったのが、氷期における我々の知る現在の温暖化を遥かにしのぐスピードでドラスティックに変動する気候であった。例えばIPCC第5次評価報告書によると現代の温暖化予想は100年で最大5℃の上昇だが、今から1万1,600年前には、わずか数年で7℃にも及ぶ急激な温暖化が起きて氷期が突然終わったことは、現在の地球規模の温暖化傾向を人為的な異常なものとするか否かについて考える上で、とても重要な問題である。人類は誕生してから20万年とも30万年とも言われているが、その多くの期間を、現在とは全く異なる氷期の激変する気候の時代を生き延びてきたのであった。

さらに、水月湖の年縞堆積物から読み解ける環境変化は、ある1年を境に激変した可能性が高いとされる。前述の通り、氷期はまるでスイッチを切ったかのようにドラスティックに終焉を迎えたものらしい。もちろん過去に起こったことは、今後、再び起こりうる可能性がある。ある臨界点を超えたとき、突然、世界気候は激変するのかもしれない。

このような、中川氏の主導する過去の地質記録の詳細な解析から地球全体の気候変動のメカニズムに迫り、人類史のスケールで現代を見つめなおす研究姿勢は古気候学や第四紀地質学研究の王道を行くものと高く称賛される。人類史も文明も、気候から読み解いてみるとたいへん興味深い。普及書としては、一般の人にも総じて読みやすく書き下してあり、図表も多く、著者の研究姿勢を感じるすばらしい良著と思う。この本が多くの人の手にとられて読まれることを念じている。

(産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門 七山 太)



北村 真奈美 (きたむら まなみ)

2018年4月より地圏資源環境研究部門地圏メカニクス研究グループに配属となりました。北村真奈美と申します。私は、学部から博士課程まで広島大学で学び、2016年9月に学位を取得しました。その後、活断層・火山研究部門に産総研特別研究員PDとして所属しておりました。

専門は実験岩石力学・構造地質学です。博士課程までは、南海トラフに関連する断層帯・断層周辺地質体について、研究を行ってきました。修士課程までは、炭質物(ビトリナイト)を用いて四万十帯の温度構造や断層帯の摩擦発熱温度について研究を行ってきました。博士課程では、南海付加体堆積物の強度と変形様式の深度変化を調べました。産総研着任後は、超臨界流体が存在する高温花崗岩体を対象に、超臨界地熱開発に伴う誘発地震発生のメカニズム解明を目指して実験的な研究を行っています。今後も継続して、超臨界条件下における花崗岩

地圏資源環境研究部門 地圏メカニクス研究グループ

の力学的・水理学的特性を明らかにしていこうと思っています。今後ともどうぞよろしく願いいたします。



井口 亮 (いぐち あきら)

2018年4月から、地質情報研究部門・海洋環境地質研究グループの主任研究員として配属となりました。井口 亮です。私は、学部・修士課程を京都大学で過ごした後、オーストラリアのJames Cook Universityで博士号を取得しました。その後、琉球大学・東京大学で研究員として研究活動に従事し、沖縄工業高等専門学校・生物資源工学科の助教として4年半勤めてから、産総研に着任しました。

私の専門は分子生態学で、主に生物の遺伝子情報を取得して、生物の進化・生態を明らかにする研究を進めてきました。分子生態学の研究手法は、遺伝的多様性の評価や連結性の把握にも活かすことができ、これらの情報を踏まえて、環境影響評価にも繋げることが可能です。産総研では、海底鉱物資源開発における環境ベースライン調査・環境影響評価を主な研究課題として、研究手法の高度化を進めたいと考えております。

地質情報研究部門 海洋環境地質研究グループ

産総研では、様々な分野の研究者が、研究の最前線で活発な研究活動を展開されている点にとっても魅力を感じております。今後産総研の研究者の方々と、ぜひ研究を通じて交流させて頂ければと希望しておりますので、今後とも、どうぞよろしく願いいたします。





須田 好 (すだ このみ)

地圏資源環境研究部門 地圏微生物研究グループ

2018年4月より任期付研究職員として地圏資源環境研究部門・地圏微生物研究グループに配属となりました。須田 好と申します。学部から博士課程まで東京工業大学で地球惑星科学を学び、2016年3月に東京工業大学理工学研究科地球惑星科学専攻にて学位を取得致しました。学位取得後は海洋研究開発機構、産総研(地圏微生物研究グループ)でのポスドクを経て、現在に至ります。

専門分野は地球化学と地球史です。卒業論文研究時より、初期地球解読を目標として、超苦鉄質岩と水の反応が関わる“蛇紋岩-水反応系”を対象とした研究を行ってきました。在学中は主に水素と炭素の安定同位体比を利用して、蛇紋岩温泉中に含まれる炭化水素ガスの生成機構の解明に取り組みました。産総研では「地下微生物を活用した燃料資源開発研究」に加わり、諸先輩に教わりながら新たに微生物学的な実験技術や専門知識を学んでいます。

これまでの地球化学的な経験を活かしつつ、他分野への理解を深めることで、多角的な視点から自然現象を捉えられる研究者を目指したいです。また、誠実かつ丁寧に研究対象と向き合うことを大切にしたいと思います。

今後ともご指導・ご鞭撻のほどよろしくお願い致します。



清家 弘治 (せいけ こうじ)

地質情報研究部門 海洋環境地質研究グループ

2017年12月から海洋環境地質研究グループに主任研究員として配属されました。清家弘治と申します。東京大学地球惑星科学専攻で2009年3月に学位を取得した後、横須賀市久里浜にある港湾空港技術研究所・沿岸土砂管理研究チームにおいて学振PDとして約3年間過ごし、その後は東京大学大気海洋研究所で助教として5年間ほど勤務しました。大学院から前職では、現在の海洋生物が形成する生痕(巣穴や這いあと)や生痕化石を研究してきました。

生痕化石の種組成(生痕相)は、地層形成時の古環境を示す有用な復元指標であるとされています。古環境復元ツールとしての生痕化石の有用性は広く認識され、堆積学、古生物学、そして資源探査の分野で活用されています。その一方で、生痕化石からより正確な古環境情報を得るためには、まず現世の生痕について調べ検証する必要があります。しかし

ながら、これまでの現世生痕の研究の大半は、半陸上環境である干潟や砂浜などでの実施に留まってきました。今後の私の研究では、堆積環境と生痕相の関係性を我が国周辺の今現在の沿岸・海洋堆積物を対象に調べ、より強固な生痕相分布モデルを構築することを目指しています。





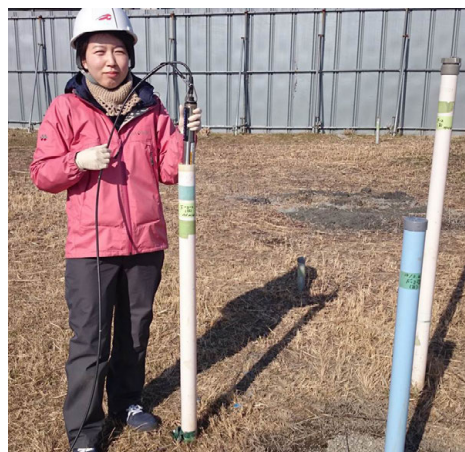
吉川 美穂 (よしかわ みほ)

地圏資源環境研究部門 地圏環境リスク研究グループ

本年3月より任期付研究員として地圏資源環境研究部門・地圏環境リスク研究グループに配属になりました。吉川美穂と申します。私は地下に広がる見えない世界に魅力を感じ、東京農工大学の土壌化学の研究室で、農地における炭素貯留等、比較的“綺麗な土壌”における環境問題の研究を行ってきました。修士課程修了後は、民間企業の研究員や産総研のテクニカルスタッフとして、専ら工業地域の“汚い土壌”を環境微生物により浄化する仕事に取り組み、昨年3月に学位を取得しました。微生物の汚染物質分解能を利用して、土壌汚染物質であるベンゼンやテトラクロロエチレンなどの揮発性有機化合物を浄化する技術は、浄化の不確実性等の問題により十分に実用化が進んでいないのが現状です。これに対し、私は浄化手法の新規開発や、微生物学のみならず土壌化学的アプローチも考慮した研究を行っています。

未熟な研究者でありますので、多岐に渡る専門家の皆様にお力添えを頂き、“汚い土壌”を“綺麗な土壌”へ変え、土壌汚染対策という社会課題に少しでも貢献できるよう、

これからの日々の研究に邁進していきたいと思えます。今後とも、ご指導・ご鞭撻のほどよろしくお願い致します。



南 裕介 (みなみ ゆうすけ)

活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

今年度より地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 火山活動研究グループに配属されました南 裕介です。これまでは火山性土石流(ラハール)と水蒸気噴火について火山地質学の観点から研究を行ってきました。ラハールについては堆積物の地形的、堆積学的特徴とその相関について、鳥海火山北麓の火山麓扇状地を対象に研究を行いました。地表踏査と掘削調査を行うことで、流走するラハールの運搬・堆積過程の変化や火山活動との関係を明らかにしました。水蒸気噴火については御岳山の2014年噴火の噴出物を対象に、噴出物の鉱物学的特徴を斑岩銅鉱床における変質作用と対比することにより、水蒸気噴火を引き起こした熱水系の特徴と噴出物の起源深度を明らかにしました。

今後は火山内部の熱水変質作用とラハールを含めた火山活動との関係について研究を行っていきたくと考えています。小規模な水蒸気噴火は山頂付近に堆積物が残りにくいのが問題とされていますが、ラハール堆積物のような再堆積物をうまく使うことにより、小規模噴火の堆積物を検出し、その

説明が行えれば、と考えております。未熟者ではございますが、皆様にとぞご指導ご鞭撻のほど、よろしくお願ひいたします。



GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 宮地良典
副委員長 中島礼
委員 井川怜欧
児玉信介
竹田幹郎
山崎誠子
小松原純子
伏島祐一郎
森尻理恵

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ 地質ニュース 第7巻第6号
平成30年6月15日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

印刷所

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor : Yoshinori Miyachi
Deputy Chief Editor : Rei Nakashima
Editors : Reo Ikawa
Shinsuke Kodama
Mikio Takeda
Seiko Yamasaki
Junko Komatsubara
Yuichiro Fusejima
Rie Morijiri

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ Chishitsu News Vol. 7 No. 6
June 15, 2018

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi, Tsukuba,
Ibaraki 305-8567, Japan



日高山脈の南端部は襟裳岬を経て太平洋に水没している。ここには日高山脈の峰々を構成する変成岩や火成岩は露出せず、襟裳累層下部を構成する厚い礫層が分布する。本累層は従来中期中新世に発生したファンデルタ堆積物と解釈されてきたが、渦鞭毛藻化石の発見によりその下限は後期漸新世に修正された。ここから採取された花崗岩ブロックの黒雲母 K-Ar 年代は 33 ～ 30 Ma を示し、礫層の堆積年代と近接することから、襟裳累層の造構場が日高変成帯の初期の上昇と深く関わっていると理解されている。

(写真・文：地質調査総合センター地質情報研究部門 七山 太)

The Erimo Formation distributed in the southern edge of the Hidaka Mountains and its tectonic origin. Photo and Caption by Futoshi NANAYAMA